ارتباط تنوع عملکردی و تاکسونومیکی گیاهی با کارکرد ذخیره کربن خاک در مراتع کوهستانی نازلوچای، آذربایجان غربی

اسماعیل شیدای کرکج[۱*] و جواد معتمدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۵/۰۸

چکیده

این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی شاخص‌های تنوع تاکسونومیک و عملکردی در تبیین میزان ذخیره کربن خاک در بخشی از مراتع کوهستانی نازلوچای ارومیه صورت گرفت. بدین منظور با نمونه‌برداری از خاک و پوشش گیاهی در واحدهای همگن شکل زمین و نیز برداشت داده‌های محیطی، محاسبه میزان کربن ذخیره‌ای خاک، تنوع تاکسونومیک و تنوع عملکردی انجام شد. نتایج بررسی رابطه تنوع تاکسونومیک با کربن خاک، حاکی از عدم‌وجود ارتباط معنی‌دار می‌باشد. نتایج رگرسیون سلسله مراتبی نشان داد کربن ذخیره‌ای خاک در مراتع منطقه با شاخص‌های سیلت، وزن مخصوص ظاهری، جهت دامنه اصلاح‌شده و شاخص تنوع عملکردی $CWM_{leaf\ length}$ (به‌عنوان نماینده فرضیه نسبت جرم) و شاخص‌های Feve و MFAD (به‌عنوان نماینده فرضیه تعدد آشیان اکولوژیک) رابطه خطی داشته و مدل حاصله با ضریب تبیین ۰/۶ معنی‌دار می‌باشد. همه پارامترها به جز وزن مخصوص ظاهری خاک، رابطه مثبت با ذخیره کربن داشته و از لحاظ ضرایب استاندارد رگرسیون، پارامترهای MFAD و $CWM_{leaf\ length}$ با ضرایب ۱/۲ و ۰/۲ به‌ترتیب بیشترین و کمترین نقش را در تبیین کربن خاک دارا هستند. در بررسی فرضیه‌های نحوه اثرگذاری تنوع، هر دو فرضیه تعدد آشیان اکولوژیک و فرضیه نسبت جرم، در بیان ذخیره کربن خاک اکوسیستم، حاکم است ولی فرضیه تعدد آشیان اکولوژیک با توجه به بالابودن ضرایب استاندارد شاخص‌های تنوع مربوطه نسبت به فرضیه دیگر، نقش بالایی در تبیین کربن خاک دارد. با توجه به نتایج، کربن ذخیره‌ای خاک بر اساس افزایش فراوانی گونه‌های با برگ دراز، افزایش یکنواختی عملکردی (توزیع فروانی یکسان گونه‌ها در فضای صفات عملکردی) و در نهایت تنوع گروه‌های عملکردی بالا، افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، عدم توجه به کاهش تنوع در مدیریت مراتع و ضعیف شدن وضعیت آن، موجب کاهش توان ذخیره کربن خاک خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، خاک، صفات گیاهی، تنوع، نازلوچای.

[۱]. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

*: نویسنده مسئول: e.sheidai@urmia.ac.ir

[۲]. دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، تهران، ایران.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

مقدمه

فرآیند ذخیره کربن خاک از حساس‌ترین خدمات تنظیمی اکوسیستم به تغییرات تنوع زیستی گیاهی بوده و نقش اساسی در کاهش شدت گرم شدن جهانی دارد (۵۱). امروزه حفاظت تنوع زیستی گیاهی و جلوگیری از گرم شدن جهانی، به‌عنوان دو موضوع مرتبط به هم از چالش‌های مهم محیطی مطرح است (۴۱). تنوع گیاهی و نقش آن بر ذخیره کربن، به‌عنوان یکی از فرآیندهای تنظیمی اکوسیستم، اکولوژیست‌ها را به این سؤال سوق داده است که ویژگی مذکور چه نقشی در ذخیره کربن و فرآیندهای اکولوژیکی مرتع دارد و اینکه آیا می‌توان پایداری، سلامت اکولوژیکی و ذخیره کربن در اکوسیستم‌های طبیعی را وابسته به تنوع گیاهی دانست.

بر اساس تئوری تعدد آشیان اکولوژیکی گونه‌ها[1] و استفاده حداکثری از منابع (۵۵)؛ در شرایط وجود تنوع بالا، امکان استفاده از منابع موجود در یک مکان به‌صورت حداکثری فراهم شده و در نتیجه منجر به تولید بالای اکوسیستم و افزایش سرعت فرآیندهای اکولوژیکی اکوسیستم و در نهایت ذخیره بالای کربن در اکوسیستم می‌گردد. این تئوری در دهه‌های اخیر به‌دلیل اثر منفی افزایش جمعیت و بهره‌برداری بیشتر منابع طبیعی بر تنوع زیستی، اکولوژیست‌ها را به تحقیق در مورد تبعات کاهش تنوع زیستی بر پروسه‌های اکولوژیکی علاقه‌مند ساخته است. از اواسط دهه ۱۹۹۰ تحقیقات مربوط به رابطه عملکرد اکوسیستم و تنوع، به‌عنوان یکی از موضوعات اساسی قابل بحث در اکولوژی تبدیل شده است و موج عظیمی از پژوهش‌ها در رابطه با محک صحت این تئوری و فهم چگونگی ارتباط تنوع با فرآیندهای مهم اکولوژیکی نظیر ذخیره کربن‌آلی بوجود آمده است (۲۴).

به‌طور کلاسیک، منظور از تنوع گیاهی عمدتاً تنوع تاکسونومیک بوده است و در اکثر مطالعات تنوع مبنای محاسبات؛ طبقات تاکسونومیک بوده است. اخیراً محققین مفهوم جدیدی تحت عنوان تنوع عملکردی را ارائه و بیان نموده‌اند. تنوع عملکردی در واقع به‌عنوان یک ارزش، دامنه و فراوانی نسبی و توزیع صفات عملکردی[2] موجودات زنده در یک جامعه مشخص تعریف می‌شود و به مؤلفه‌هایی از تنوع اشاره می‌کند که نحوه عملکرد اکوسیستم را کنترل می‌کند (۹).

مطالعات متعددی نشان داده است که تنوع عملکردی گیاهی[3] به‌عنوان مفهوم جدیدتر در مقایسه با تنوع تاکسونومیک، به‌دلیل اینکه شاخص مهمی در تعیین فرایندهای اکولوژیکی، پویایی مواد غذایی، پایداری و قابلیت تولید آن است؛ پروسه‌های اکوسیستم را بهتر بیان می‌کند و با این حال، هنوز به روند و نتیجه کلی رسیده نشده است (۵۷).

در خصوص نحوه اثرگذاری تنوع عملکردی بر پروسه‌های اکولوژیک، دو مکانیسم ارائه شده است. اولین مکانیسم، تحت عنوان فرضیه اشتراک و یا تودرتویی آشیان‌های گیاهان[4] (۵۴) است و بیان می‌کند، ترکیب دو یا چند گونه گیاهی با هم، می‌تواند سبب افزایش تولید و بهبود فرآیندهای اکوسیستم نسبت به ترکیب‌های یک گونه‌ای گردد. در حقیقت گونه‌های مختلف و به تبع آن صفات مختلف در آن، سبب بهره‌برداری بهینه منابع در میان گونه‌ها شده و در نتیجه قابلیت عملکرد بیشتر می‌شود. فرضیه دوم به نام اثر انتخابی[5] یا فرضیه نسبت جرم[6] (۲۱) است و عنوان می‌دارد در یک جامعه با تنوع بالا، احتمال بالایی برای حضور گونه‌ها یا صفات غالبی وجود دارد که عملکرد اکوسیستم را به‌طور عمده تحت تاثیر قرار می‌دهد و بر اساس این فرضیه، عملکرد اکوسیستم عمدتاً توسط گونه‌ها و صفات غالب انجام می‌شود.

از جمله مطالعاتی که در خصوص بررسی ارتباط کربن خاک با تنوع عملکردی و بررسی برقراری مکانیسم‌های موثر صورت گرفته است، می‌توان به مطالعات انجام شده در اکوسیستم‌های علفزار (۵۱)، اکوسیستم‌های جنگلی (۳۳)، جنگل‌های بیشه‌ای نیمه‌خشک (۱۰) و اکوسیستم‌های مرتعی (۵۹، ۵۳ و ۴۰) اشاره کرد. مطالعات دیگری نیز در خصوص کاربرد تنوع عملکردی در بررسی اکولوژی مراتع داخل کشور صورت گرفته است که می‌توان به تحقیق

[1]- Niche complementarity hypothesis
[2]- plant functional traits
[3]- plant functional diversity
[4]- Niche complementarity hypothesis
[5]- Selection effect
[6]- Mass ratio hypothesis

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

صورت گرفته در مراتع روار استان کرمان با هدف تعیین عوامل خاکی موثر بر شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای (۲۷)، تحقیق در خصوص بررسی رابطه تنوع عملکردی با تولید مرتع در مراتع بروجن (۴۰) و تحقیقات در خصوص مقایسه کارایی شاخص‌های تنوع گونه‌ای (غنا) و تنوع کارکردی FAD2 در برآورد زی‌توده در مراتع زاگرس (۲۰) اشاره داشت. که همگی این تحقیقات بر اهمیت و کارایی شاخص‌های تنوع عملکردی نسبت به شاخص‌های تاکسونومیک اذعان داشته‌اند.

یک فرا تحلیل اخیر در ۴۴ آزمایش مربوط به رابطه تولید- تنوع ، نشان داد که در حدود ۷۹ درصد سایت‌های با ترکیب گونه‌ای نسبت به اراضی تک گونه‌ای، تولید بیشتر است. یافته‌های آنها، حاکم بودن هر دو نوع فرضیه اثر انتخاب (نسبت جرم) و مکملیت گونه‌ها (تعدد آشیان‌ها) در بیان عملکرد اکوسیستم را تأیید کرده است (۶).

به‌عنوان جمع‌بندی، ذکر این نکته ضروری است که با وجود اهمیت جهانی تنوع گیاهی و کارکرد ذخیره کربن در اکوسیستم‌ها، مطالعات محدودی در خصوص تنوع تاکسونومیک و آن هم در اکوسیستم‌های جنگلی و گراسلندها انجام شده است ولی در خصوص رابطه تنوع عملکردی و ذخیره کربن در مراتع و به‌ویژه مراتع کوهستانی مناطق نیمه خشک، بررسی‌های کمتری صورت گرفته است. علاوه بر این، تحقیقات هنوز به یک نتیجه ثابت و مشخصی نرسیده است و تناقض در نتایج، به متفاوت بودن شرایط محیطی و ترکیب گیاهی، مربوط است و درک جامعه علمی از نقش جنبه‌های مختلف تنوع زیستی، هنوز جزئی است و به مطالعات علمی بیشتری نیاز دارد (۴۳).

بنابراین مطالعه حاضر با هدف تعیین نقش تنوع عملکردی در تبیین کربن خاک، صورت گرفت. فهم اینکه تنوع عملکردی چگونه تغییرات کربن ذخیره‌ای و تولید را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به کاهش میزان دی اکسید کربن جو و نیز افزایش توان تولید مراتع و عمومیت بخشیدن نتایج آن در مورد اهمیت حفظ تنوع زیستی، کمک خواهد کرد (۲۶). همچنین ضروری است که به مقایسه کارایی دو موضوع مهم تنوع تاکسونومیک و تنوع عملکردی در بیان عملکرد ذخیره کربن نیز پرداخته شود و در صورت اثرگذاری تنوع عملکردی، لازم است به بررسی و جستجوی نوع مکانیسم اثرگذاری تنوع بر عملکرد اکوسیستم، کار شود. بر این اساس، فرضیه‌هایی نظیر اینکه، -تنوع عملکردی با ذخیره کربن آلی خاک رابطه دارد، - عوامل محیطی بر رابطه بین تنوع گیاهی و ذخیره کربن خاک تاثیر گذار است و - تنوع عملکردی در بیان عملکرد ذخیره کربن موثرتر از تنوع تاکسونومیک است؛ مطرح می‌باشد.

مواد و روش‌ها

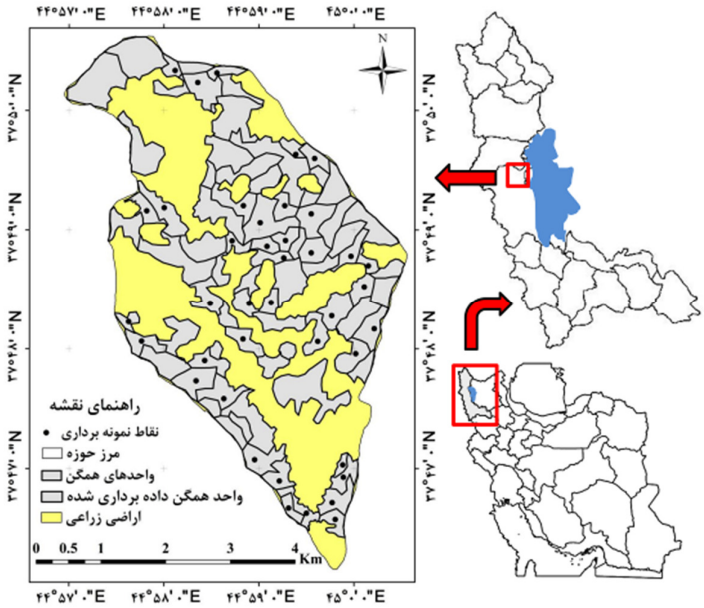
منطقه مورد مطالعه و انتخاب سایت‌ها

برای انجام پژوهش حاضر؛ مراتع کوهستانی خانقاه سرخ واقع در شهرستان ارومیه (شکل ۱) با مساحت ۲۰۰۰ هکتار که به‌عنوان مراتع معرف حوزه آبخیز نازلوچای و اقلیم رویش‌های آذربایجانی در شمالغرب می‌باشد (۳۷)، مورد بررسی قرار گرفت. مراتع مورد پژوهش، بین طول جغرافیایی ۵۷َ ۴۴° تا ۰۰َ ۴۵° شرقی و عرض جغرافیایی ۵۰َ ۳۷° تا ۴۶َ ۳۷° شمالی در دامنه ارتفاعی ۱۴۸۰ تا ۲۳۸۰ از سطح دریا، پراکنش دارد. متوسط بارندگی و دمای سالانهٔ منطقه به‌ترتیب ۳۹۳/۹ میلی‌متر و ۹/۹ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه نیز بر مبنای اقلیم نمای آمبرژه، نیمه‌خشک سرد می‌باشد.

به‌منظور دستیابی به واحدهای بوم شناختی، به‌عنوان واحدهای مدیریتی، با استفاده نقشه‌های شیب (در طبقات ۰-۱۲، ۱۲-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰ و >۶۰ درصد)، جهت (در طبقات نه‌گانه فرعی و اصلی) و ارتفاع (در طبقات <۱۷۵۰، ۱۷۵۰-۲۰۵۰ و >۲۰۵۰ متر)، واحدهای همگن اولیه، ایجاد شد. سپس، در تعدادی از آنها که در بر دارنده پوشش گیاهی متفاوت بودند و تنوع عوامل شکل زمین بالایی نیز داشتند؛ مکان‌های معرف، انتخاب شد. در این ارتباط، حدود ۸۱ واحد همگن اولیه در مقیاس مطالعات اجرایی (۱:۲۵۰۰۰)، بدست آمد که در حدود ۴۰ واحد بوم‌شناختی منحصر بفرد (واحد همگن اکولوژیک) از لحاظ شرایط محیطی، جهت داده‌برداری انتخاب شد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مراتع کوهستانی خانقاه سرخ و واحدهای بوم‌شناختی و نقاط نمونه‌برداری

نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها

با توجه به نوع پوشش گیاهی و نیز بر اساس بر دستورالعمل طرح ملی ارزیابی مراتع مناطق مختلف آب و هوایی کشور (۱ و ۲) با استقرار پلات‌های یک متر مربعی در توده معرف هر یک از واحدهای بوم‌شناختی، درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی در داخل آن ثبت شد. به‌منظور محاسبه شاخص‌های تنوع عملکردی، صفات گیاهی گونه‌ای مهم گیاهی مرتبط با ترسیب کربن شامل ۱۱ صفت (عرض برگ، طول برگ، سطح برگ، نسبت وزن خشک به وزن تر برگ‌ها، میزان کربن برگ، وزن خشک برگ، سطح ویژه برگ، ارتفاع، قطر بزرگ و کوچک تاج و قطر ساقه یا یقه)، بر طبق پروتکل استاندارد (۱۱)، اندازه‌گیری شد.

همچنین نمونه‌برداری خاک نیز به‌طور مرکب از محدوده انتخابی، صورت گرفت و برخی پارامترهای خاکی نظیر؛ درصد رس، سیلت، ماسه، اسیدیته، هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری و کربن آلی، در آزمایشگاه طبق دستورالعمل‌های موجود (۷)، اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک در نهایت بر حسب کیلوگرم کربن در متر مربع در عمق ۳۰ سانتی‌متر، توسط رابطه ۱ محاسبه شد. لازم به ذکر است میزان کربن خاک توسط واحدهای مختلفی نظیر تن در هکتار و یا کیلوگرم در مترمربع قابل ارائه است که به راحتی توسط ضریبی قابل تبدیل به یکدیگر هستند. ولی از آنجایی که اندازه‌گیری تنوع و برداشت خاک در پلات‌های یک متر مربعی صورت گرفته است لذا به منظور فهم آسان‌تر و منطقی‌تر، کربن نیز به صورت کیلوگرم در متر مربع گزارش شد.

$$SOC=BD*OC*hi*10$$ رابطه (۱)

که SOC، میزان کربن توده‌ای بر حسب کیلوگرم در متر مربع و عمق مشخص، BD، وزن مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، C، درصد کربن آلی بر حسب درصد و h_i، عمق معادل محاسبه‌ای خاک بر حسب متر است. عمق معادل بر اساس فرمول منطقی و مد نظر قرار دادن وزن مخصوص ظاهری خاک‌های مختلف قابل محاسبه است (۴۸).

برخی ویژگی‌های محیطی نظیر شیب، جهت، ارتفاع نیز از سایت انتخابی، برداشت گردید و شدت چرای دام در هر یک از مکان‌ها، با استناد به دستورالعمل‌های موجود (۲۵)، ثبت گردید. در خصوص اندازه‌گیری و اطلاع از شدت چرای دام مطابق دستورالعمل پیشنهادی (۲۵)، با توجه به مشخصه‌های کیفی عرصه، شدت چرای دام در یکی از طبقات پنج‌گانه قرار می‌گیرد. پنج طبقه اول تا پنجم به

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

ترتیب شامل طبقات بدون آشوب، آشوب ضعیف، آشوب متوسط، آشوب سنگین و آشوب خیلی سنگین است.

محاسبات تنوع تاکسونومیک و تنوع عملکردی

از دسته شاخص‌های تاکسونومیک، شاخص ناهمگنی شانون- وینر، غنای ویتاکر و شاخص یکنواختی جی پایلو، مورد استفاده قرار گرفت (۳۲). بدین صورت که برای هر واحد بوم‌شناختی، با داشتن میانگین درصد تاج پوشش گونه‌های گیاهی، مقادیر شاخص‌ها در نرم‌افزار PAST نسخه ۴ محاسبه شد (۲۳).

از دسته شاخص‌های تنوع عملکردی، شاخص‌های CWM، FAD1، MFAD، FAD2، Rao، rRao، FEve، FDiv، Fdis و FSpe محاسبه گردید. لازم به ذکر است که در مطالعات علوم گیاهی، معمولاً درصد تاج پوشش در محاسبات مرتبط به عامل فراوانی نسبی، مد نظر قرار می‌گیرد. خاطر نشان می‌سازد که شاخص CWM مربوط به صفات قطر کوچک تاج، میزان ضریب تبدیل کربن برگ، میزان وزن برگ و شاخص سطح ویژه برگ، نماینده فرضیه نسبت جرم است و سایر شاخص‌ها، نماینده فرضیه تنوع یا همان اثر اشتراک و تودرتویی آشیان‌ها می‌باشد. تمامی شاخص‌های تنوع عملکردی، در نرم‌افزار FDiversity[1] نسخه ۲۰۱۰ محاسبه شدند (۸). این نرم‌افزار توسط یک رویه کاربردوست که توسط زبان برنامه‌نویسی دلفی نوشته شده است، تحت ویندوز بوده و از نرم‌افزار R استفاده می‌کند.

تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به وجود پارامترهای مستقل مختلف در دسته‌های مختلف شامل دسته پارامتر توپوگرافی و محیطی، خاکی، شاخص‌های تنوع تاکسونومیک و شاخص‌های تنوع عملکردی، امکان وجود پارامترهای هم ارز در هر دسته وجود دارد و ممکن است به‌واسطه ایجاد حالت هم خطی، سبب ایجاد اشکال و خطا در مدل‌سازی شود. لذا ابتدا به‌منظور حذف پارامترهای با همبستگی بالا در داخل هر یک از دسته‌ها و رعایت پیش فرض‌های رگرسیون، اقدام به انجام رگرسیون بهترین زیر مجموعه بین شاخص‌های موجود در دسته، بصورت جداگانه با پارامتر وابسته کربن آلی خاک گردید تا مهمترین پارامترهای دخیل در پیش بینی کربن آلی خاک در هر دسته انتخاب گردد. از معیار شاخص اطلاعات آکائیک (AIC) و ضریب تبیین تعدیل شده (r^2 adj.)، به‌منظور انتخاب مدل مناسب استفاده شد. به‌طوری که مدل با کمترین میزان شاخص آکائیک[2] (AIC)، به‌عنوان شاخص نهایی انتخاب گردید (۴).

در مرحله بعدی، به‌منظور ارائه مدل، از روش رگرسیون سلسله مراتبی[3] استفاده شد، تا ضمن بررسی تعیین ارتباط کربن با عوامل اثرگذار و مخصوصاً تنوع، اقدام به ارائه مدلی گردد که جهت پیش‌بینی مورد استفاده واقع شود. در این روش، یک مبنای منطقی و یا نظری برای ترتیب ورود متغیرهای مستقل به مدل وجود دارد. لذا با استفاده از این رویه، می‌توان کیفیت مدل و اثر متغیری یا گروهی از متغیرها را بعد از کنترل اثر متغیر(های) وارد شده مرحله اول، بررسی نمود. در این پژوهش، مبنای نظری و منطقی رویکرد اکوسیستمی سلسله مراتبی (۱۳) در خصوص نحوه وارد کردن پارامترها از بالا به پایین به مدل رگرسیونی استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا شاخص‌های توپوگرافی و مدیریتی، سپس عوامل خاکی و در آخر، شاخص‌های تنوع، وارد مدل شدند. این چهارچوب بر اساس منطق اثرگذاری عوامل کلان محیطی بر کربن، ابداع و ارائه شده است. در رگرسیون سلسله مراتبی، در هر مرحله از ورود متغیرهای مستقل به مدل، میزان ضریب تبیین (R^2) تغییر می‌یابد. بایستی یک آزمون فرض F-Change به‌منظور آزمون اینکه تغییرات R^2، تفاوت معنی‌دار با صفر دارد؛ انجام شود. در حقیقت هدف از انجام رگرسیون سلسله مراتبی، آزمون صحت حاکمیت شرایط سلسله مراتبی تئوریکی است. برای آنالیز این روش، از نرم‌افزارهای XLSTAT نسخه ۲۰۱۵ و SPSS نسخه ۲۱ استفاده شد.

[1]- http://www.fdiversity.nucleodiversus.org
[2]- Akaike information criterion
[3]- Hierarchical Regression

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

نتایج

اطلاعات فلورستیکی

در منطقه مورد مطالعه در حدود ۸۰ گونه گیاهی مشاهده شد که این تعداد مربوط به ۱۸ خانواده گیاهی می‌باشد. خانواده‌های Poaceae، Asteraceae و Lamiaceae دارای بیشترین گونه می‌باشند و خانواده‌های Scrophulariaceae، Caryophyllaceae، Malvaceae، Plumbaginaceae، Ephedraceae و Zygophyllaceae هر کدام با یک گونه، دارای کمترین تعداد گونه هستند.

رگرسیون بهترین زیر مجموعه برای هر یک از دسته پارامترهای مستقل

آنالیز رگرسیون بهترین زیر مجموعه بین کربن آلی خاک و پارامترهای موجود در داخل هر دسته از عوامل محیطی و مدیریتی (ارتفاع، جهت، شیب و شدت چرای دام)، خاکی (شن، رس، سیلت، اسیدیته، هدایت الکتریکی و وزن مخصوص ظاهری)، شاخص‌های تنوع تاکسونومیک و شاخص‌های تنوع عملکردی (نماینده‌های هر دو فرضیه)، به‌طور جداگانه صورت گرفت. معیار انتخاب بهترین زیر مجموعه، شاخص آکائیک بود. به‌طوری که مدل با کمترین میزان آکائیک، مناسبترین مدل شناخته شد و پارامترهای وابسته دخیل در آن مدل، جهت ورود به رگرسیون سلسله مراتبی انتخاب گردید (جدول ۱).

مطابق جدول۱، پارامترهای پر رنگ در هر دسته، معنی‌دار بوده و برای رگرسیون سلسله مراتبی انتخاب شدند. به‌طوری‌که برای دستهٔ پارامترهای توپوگرافی و مدیریتی، با توجه به میزان معنی‌داری، پارامتر جهت دامنه انتخاب شدند. برای دستهٔ عوامل خاکی، پارامترهای سیلت، اسیدیته و وزن مخصوص ظاهری انتخاب گردید. برای شاخص‌های تنوع تاکسونومیک، هیچ یک از شاخص‌های مربوطه در مدل بهترین زیر مجموعه با توجه به عدم معنی‌داری پارامترها، شناخته و انتخاب نشد. در خصوص شاخص‌های تنوع عملکردی مربوط به فرضیه نسبت جرم، شاخص‌های میانگین وزنی جامعه CWM_{SCC}، CWM_{BCC}، $CWM_{leave.length}$ و شاخص‌های تنوع عملکردی مرتبط با فرضیه تعدد آشیان‌های اکولوژیک، شاخص‌های FAD1، MFAD و FEve به‌منظور انجام رگرسیون سلسله مراتبی انتخاب شدند.

رگرسیون سلسله مراتبی

به‌منظور مدل‌سازی میزان کربن ذخیره‌ای خاک در کل مکان‌های معرف، از رویکرد سلسله مراتبی (۱۳) استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج مربوط به رگرسیون سلسله مراتبی در جدول ۲ نشان می‌دهد که در مرحله اول، پارامتر جهت و در مرحله دوم، پارامتر جهت دامنه به همراه سیلت در مدل ظاهر شده است. در مرحله سوم؛ جهت، سیلت و اسیدیته پارامترهایی هستند که در مدل نمایان شده‌اند و در مرحله چهارم، رگرسیون سلسله مراتبی با اضافه شدن وزن مخصوص ظاهری به پارامترهای قبلی همراه است. در مرحله پنجم که مدل نهایی است، پارامترهای جهت دامنه، سیلت، وزن مخصوص ظاهری، $CWM_{leaf.length}$، MFAD و FEve در مدل نهایی به‌طور معنی‌داری ظاهر شدند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

جدول ۱: نتایج انتخاب بهترین زیرمجموعه در هر یک از دسته‌های پارامترهای مستقل

ردیف	دسته	عوامل ورودی	معنی‌داری ضرایب رگرسیون زیرمجموعه				معنی‌داری رگرسیون		معیار انتخاب زیر مجموعه	
			Beta	B	t	Sig.	F	Sig.	AIC	R^2 Adj.
۱	توپوگرافی و مدیریتی	ثابت	۰	۱/۰۱	۲/۹۹	**۰/۰۰۵**	۱۳/۳۸	**۰/۰۰۱**	**۱۴/۷۷**	۰/۲۴۱
		ارتفاع	۰	۰						
		شدت چرا	۰	۰						
		شیب	۰	۰						
		جهت	۰/۵۱	۰/۷۵	۳/۶۵	**۰/۰۰۱**				
۲	خاک	ثابت	۰	۱۵/۴	۲/۶۲	**۰/۰۱**	۵/۴۴	**۰/۰۰۳**	**۱۵/۸۸**	۰/۲۵۵
		شن	۰	۰						
		سیلت	۰/۳۳	۰/۰۵	۲/۳۵	**۰/۰۲**				
		رس	۰	۰						
		رطوبت اشباع	۰	۰						
		اسیدیته	-۰/۳۰	-۱/۵	-۲/۲	**۰/۰۳**				
		هدایت الکتریکی	۰	۰						
		درصد سنگریزه	۰	۰						
		وزن مخصوص ظاهری	-۰/۳۰	-۱/۴	-۲/۱	**۰/۰۳**				
۳	شاخص‌های تنوع تاکسونومیک	ثابت	۰	-۴/۴۵	-۱/۱۷	۰/۲۴	۲/۹۷	۰/۰۹۳	**۲۳/۸۳**	۰/۰۴۸
		Taxa_S	۰	۰						
		Shannon_H	۰	۰						
		Equitability_J	۰/۲۶	۷/۲	۱/۷۲	۰/۰۹				
۴	شاخص‌های تنوع عملکردی نماینده فرضیه اول	ثابت	۰	-۱/۶	-۱/۵	۰/۱۲	۴/۵۲	**۰/۰۰۹**	**۱۸/۰۵**	۰/۲۱۳
		CWM.basal.diam	۰	۰						
		CWM.SCC	-۸/۰۸	-۰/۴۹	-۲/۷	**۰/۰۰۹**				
		CWM.BCC	۸/۱	۰/۴۶	۲/۸	**۰/۰۰۸**				
		CWM.height	۰	۰						
		CWM.Leaf.width	۰	۰						
		CWM.leave.length	۰/۳۵	۰/۰۱	۲/۳	**۰/۰۲**				
		CWM.SLA	۰	۰						
		CWM.LDM	۰	۰						
		CWM.LA	۰	۰						
۵	شاخص‌های تنوع عملکردی نماینده فرضیه دوم	ثابت		۲/۲۳	۰/۸۳	۰/۴	۴/۵۴	**۰/۰۰۵**	**۱۶/۱**	۰/۲۶۷
		FAD1	-۱/۸	-۰/۵۴	-۳/۲	**۰/۰۰۲**				
		FAD2	۰	۰						
		MFAD	۱/۹	۳/۲۳	۳/۴	**۰/۰۰۱**				
		Rao	۰	۰						
		FEve	۰/۳۵	۵/۵	۲/۳	**۰/۰۲**				
		FDiv	-۰/۲۴	-۵/۳	-۱/۵	۰/۱۲				
		Fdis	۰	۰						
		FSpe	۰	۰						

انجام آزمون تجزیه واریانس رگرسیون نشان داد هر چهار رگرسیون مراحل اول تا چهارم، در سطح یک درصد و رگرسیون پنجم، در سطح پنج درصد، معنی‌دار است. به‌طوری که در هر مرحله، با رفتن به مراحل بعدی، میزان برازش رگرسیون و ضریب تبیین کلی آن بهبود یافت. در مرحله اول رگرسیون، میزان ضریب تبیین مدل ۰/۲۴ بود که در نهایت در مرحله پنجم، ضریب تبیین به ۰/۶ افزایش یافت. ضمن اینکه با توجه به آماره F Change مشخص شد که میزان این تغییرات افزایشی، برای هر پنج مرحله معنی‌دار بود.

بر این اساس، مشاهده شد که شاخص‌های مختلف تنوع عملکردی، در پیش‌بینی کربن، نقش معنی‌داری دارد ولی شاخص‌های تنوع تاکسونومیک، به‌دلیل عدم معنی‌داری و انتخاب نشدن در مرحله رگرسیون بهترین

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

مجموعه، جایگاهی در مدل نهایی ندارند. با توجه به آنکه آماره VIF کمتر از ۱۰ و آماره Tolerance نزدیک یک بود، لذا در مدل نهایی، پیش شرط عدم وجود هم‌خطی، برقرار بود و نتایج آن قابل اتکا است. آماره دوربین واتسون، به‌منظور آزمون پیش شرط رگرسیون مبنی بر مستقل بودن مقادیر خطای رگرسیون، برابر ۱/۸۹ بود که حاکی از صفر بودن خود همبستگی و یا به عبارتی مستقل بودن خطای رگرسیون است. در نهایت فرمول برآورد کربن آلی خاک به صورت زیر ارائه شد.

$$\mathbf{SOC}= 0.42Aspect+0.06\ Silt-1.3\ BD+0.01\ CWM_{leaf\ length}+2.05\ MFAD2+3.4Feve$$

جدول ۲: انجام رگرسیون سلسله مراتبی در پنج مرحله

مدل	مدل	ضرایب غیر استاندارد B	ضرایب غیر استاندارد S.Error	ضرایب استاندارد Beta	t	Sig.	F	Sig.	Adj. R^2	F Change	Sig. F Change
۱	(Constant)	۱/۰۱	۰/۳۴		۲/۹	۰/۰۰۵	۱۳/۳۸	۰/۰۰۱	۰/۲۴	۱۳/۳۸	۰/۰۰۱
	aspect	۰/۷۵	۰/۲	۰/۵۱	۳/۶	۰/۰۰۱					
۲	(Constant)	−۰/۲	۰/۵۷		۰/۴۲	۰/۶۷	۱۱/۱۱	۰/۰۰۰	۰/۳۴	۶/۸	۰/۰۱۳
	aspect	۰/۷	۰/۱۹	۰/۴۷	۳/۶	۰/۰۰۱					
	silt	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۳۴	۲/۶	۰/۰۱					
۳	(Constant)	۱۲	۴/۹		۲/۴	۰/۰۱۹	۱۰/۶۲	۰/۰۰۰	۰/۴۲	۶/۴	۰/۰۱۶
	aspect	۰/۷	۰/۱۸	۰/۵	۴	۰/۰۰					
	silt	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۳۵	۲/۹	۰/۰۰۶					
	pH	−۱/۵	۰/۶	−۰/۳	−۲/۵	۰/۰۱					
۴	(Constant)	۱۶/۱	۴/۷		۳/۳	۰/۰۰۲	۱۱/۲۱	۰/۰۰۰	۰/۵۱	۷/۳۵	۰/۰۱
	aspect	۰/۷	۰/۱۶	۰/۵	۴/۴	۰/۰۰۰					
	silt	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۲۸	۲/۴	۰/۰۱۸					
	pH	−۱/۷	۰/۵۷	−۰/۳۴	−۳	۰/۰۰۴					
	bd	−۱/۴	۰/۵۴	−۰/۳۱	−۲/۷	۰/۰۱					
۵	(Constant)	۵/۵	۵/۵		۰/۹۹	۰/۳۲	۶/۸۶	۰/۰۰۰	۰/۶	۵/۳	۰/۰۴۱
	aspect	۰/۴۲	۰/۲	۰/۲۹	۲/۰۹	۰/۰۴۵					
	silt	۰/۰۶	۰/۰۱۹	۰/۴	۳/۴	۰/۰۰۲					
	BD	−۱/۳	۰/۵۵	−۰/۲۸	−۲/۳	۰/۰۲۴					
	$CWM_{leave.length}$	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۲	۲/۴۹	۰/۰۴					
	MFAD	۲/۰۵	۰/۹	۱/۲	۲/۲۵	۰/۰۳					
	FEve	۳/۴	۱/۷	۰/۲۲	۲/۱۴	۰/۰۴					

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۸۰ نوع گونه گیاهی ثبت شد و بزرگترین خانواده گیاهان، به گندمیان و کاسنی مربوط است. در مطالعات دیگر نیز با هدف تهیه لیست فلورستیک، مشابه این یافته بدست آمده است و سازگاری بیشتر گیاهان تیره گندمیان و کاسنی به اقلیم نیمه خشک، دلیل وفور بالای آنها عنوان شده است. در این خصوص می‌توان عنوان نمود که ویژگی‌های مورفولوژیک، آناتومی و فیزیولوژیک این تیره و راهکارهای دفاعی شامل وجود خار، وجود ترکیبات ثانویه که مکانیزم قابل توجهی را در مقابله با چرای شدید دام برای گونه‌های این تیره فراهم کرده، موجب گسترش آنها شده است (۵۲).

بر اساس نتایج نهایی رگرسیون سلسله مراتبی، مشخص شد که میزان کربن آلی خاک، توسط پارامترهای مختلف مستقل با ضریب تبیین برابر با ۰/۶، قابل تبیین و پیش‌بینی بوده، به‌طوری که کربن با پارامترهای جهت اصلاح شده دامنه، سیلت خاک، $CWM_{leave.length}$، MFAD و FEve، ارتباط مثبت معنی‌دار و با پارامتر وزن مخصوص ظاهری، ارتباط منفی معنی‌دار دارد. بر این اساس، مشاهده شد که شاخص‌های مختلف تنوع عملکردی، در پیش‌بینی کربن، نقش معنی‌داری دارند ولی شاخص‌های تنوع تاکسونومیک، جایگاهی در مدل نهایی ندارند. زیرا شاخص‌های مذکور در مرحله اولیه انتخاب پارامترهای مهم یعنی در مرحله رگرسیون بهترین مجموعه جهت

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

مدل‌سازی، به‌دلیل عدم معنی‌داری، انتخاب نشده‌اند. میزان اثرگذاری پارامترهای مستقل بر میزان کربن ذخیره‌ای خاک، بر اساس ضرایب استاندارد رگرسیون از بیشترین به کمترین، به‌صورت MFAD، silt، aspect، BD، FEve و $CWM_{leave.length}$ بود. به‌طوری که شاخص MFAD، بیشترین اثر و $CWM_{leave.length}$ کمترین اثرگذاری را دارد. بنابراین با توجه به عوامل محیطی و زنده موثر در ذخیره کربن خاک، مشخص می‌شود علاوه بر عوامل تنوع گیاهی، عوامل محیطی مختلفی نیز بر میزان کربن ذخیره ای خاک تاثیر دارد. شواهد محکمی در خصوص رابطه تنگاتنگ پوشش زنده گیاهی با میزان ذخیره کربن آلی خاک و اثرگذاری عوامل خارجی بر این رابطه وجود دارد (۱۴). به‌طوری که عنوان گردید عوامل محیطی در کنار عوامل گیاهی، بر روی ذخیره کربن و نحوه ارتباط بخش زنده و عملکرد اکوسیستم تاثیر می‌گذارد و ممکن است حتی جهت این تاثیرات نیز عوض گردد (۲۲). در این ارتباط، با بررسی تاثیرات گروه‌های عملکردی بر بیوماس، در گراسلندهای نیمه طبیعی (۴۷) پرداختند و نشان دادند که ترکیب سه عامل خاکی، ارزش ویژگی‌های گونه‌های غالب (CWM) و تنوع عملکردی صفات، به‌عنوان بهترین حالت در نشان دادن میزان عملکرد در اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌آید.

با توجه به رابطه مثبت معنی‌دار، میزان سیلت خاک با میزان کربن آلی ذخیره‌ای، مشخص می‌شود. با افزایش میزان سیلت خاک که جزو ذرات ریز خاک محسوب می‌شود، پتانسیل ذخیره کربن نیز در خاک افزایش می‌یابد. در این خصوص، بیان شد که تجزیه ماده آلی خاک در خاک‌هایی با بافت ریز، کمتر از خاک‌های با بافت درشت است (۳۱). لذا ذرات رس و سیلت ریز، قادر هستند میزان نسبتاً بالایی از کربن آلی را حفظ کنند. محققان مختلفی بر اهمیت خاک‌های رسی و سیلتی در ترسیب کربن، اشاره داشته‌اند. در خاک‌های غنی از رس و سیلت، شرایط برای خاکدانه‌سازی مناسب است که این امر سبب چسبیدن ذرات مواد آلی کربن‌دار به ذرات رس شده و سبب تثبیت بلند مدت کربن آلی شده و از خطر تجزیه حفظ می‌شود (۲۸). طی بررسی عوامل خاکی موثر بر توان ذخیره کربن آلی خاک در مراتع آذربایجان شرقی، گزارش شد که میزان کربن آلی خاک، رابطه مثبت و معنی‌داری با میزان ذرات سیلت و رس داشته و عنوان گردید که بافت خاک تأثیر مهمی بر ویژگی‌های مواد آلی خاک دارد، به‌طوری که مقادیر بالای ماده آلی و بیشترین حفاظت فیزیکی و شیمیایی خاک از مواد آلی، در خاک‌های با محتوی بالای رس اتفاق می‌افتد (۴۹). هم راستا با یافته اخیر نتایج تعیین عامل‌های بوم-شناختی مؤثر بر ترسیب کربن در درمنه‌زارهای استان سمنان نیز نشان داده است مقدار کربن ذخیره‌ای در این اکوسیستم‌ها بیشتر تحت تأثیر زیتوده ریشه، رس و نیتروژن خاک، عامل ارتفاع از سطح دریا و میانگین بارش سالیانه قرار دارد (۳).

بر اساس مدل ایجاد شده، نتایج حاکی از ارتباط منفی معنی‌دار بین کربن آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری خاک است. در این خصوص می‌توان عنوان نمود با فشردگی خاک و به تبع آن افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و در نهایت کاهش تخلخل خاک، شرایط برای نفوذ ریشه گیاهان و یا ذخیره رطوبت تنزل می‌یابد و در نهایت، پوشش گیاهی ضعیفی در عرصه مستقر خواهد بود. از اینرو، کاهش در پوشش گیاهی سبب کاهش در ورود لاشبرگ و کربن آلی به خاک خواهد شد. محققان مختلفی بر این امر تاکید داشته و عنوان می‌دارند پوشش گیاهی از لحاظ نوع و تراکم، از طریق ریشه فراوان بر مقدار نیتروژن خاک موثر بوده و سبب افزایش موادآلی و ازت می‌شود (۴۴). به طور منطقی بایستی بر اساس فرمول محاسباتی رابطه بین وزن مخصوص ظاهری و میزان کربن در واحد سطح و عمق مشخص مثبت باشد ولی این امر زمانی است که میزان کربن در عمق ثابت محاسبه شود. در صورتیکه اگر میزان کربن در عمق معادل با لحاظ کردن اثر وزن مخصوص ظاهری، گزارش شود در آن صورت، انتظار رابطه مثبت دور از ذهن خواهد بود. در خصوص نحوه محاسبه کربن در واحد سطح و نیز محاسبه کربن در عمق معادل تحقیقات مختلفی صورت گرفته است و بر این امر صحه گذاشته‌اند (۱۵ و ۴۸).

در بررسی ارتباط جهت اصلاح شده دامنه با کربن ذخیره‌ای خاک، نتایج نشان داد یک رابطه مثبت معنی‌دار بین این دو پارامتر وجود دارد و جهت می‌تواند میزان قابل توجهی از کربن ذخیره‌ای خاک را تبیین نماید. در خصوص پارامتر جهت، ذکر این نکته ضروری است که به‌منظور بررسی منطقی و واقعی مقادیر آزیموت جهت، لازم است که

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

مقادیر آزیموت جهت، اصلاح گشته و تابعی از میزان انرژی دریافتی خورشید باشد. از اینرو، توسط روابط اکولوژیکی، عدد آزیموت جهت، اصلاح گردید. بر این اساس، هر چه جهت شمالی‌تر باشد، عدد جهت اصلاح شده افزایش می‌یابد و به سمت ۳/۱۴ میل می‌نماید و برعکس، در جهت‌های جنوبی‌تر، عدد جهت اصلاح شده به صفر میل می‌نماید. بنابراین با توجه به رابطه مثبت جهت اصلاح شده با کربن آلی خاک، نتیجه می‌شود دامنه‌های شمالی، کربن بیشتری نسبت به دامنه‌های جنوبی، ذخیره کربن بیشتری دارند. در این خصوص می‌توان عنوان نمود که به‌دلیل مهیا بودن شرایط رطوبتی در دامنه‌های شمالی و تبخیر نسبتاً کمتر در مقایسه با دامنه‌های جنوبی، زمینه برای تولید و تراکم پوشش گیاهی بالاتر ایجاد خواهد شد و در نهایت میزان ورودی لاشبرگ و کربن بالایی برقرار خواهد بود. به‌صورت مکانیستیکی، افزایش میزان رطوبت در اکوسیستم و حفظ و نفوذ آب توسط لکه‌های اکولوژیک، محرکه‌ای برای یک پس‌خور مثبت در اکوسیستم ایجاد می‌کند و در نهایت سبب تقویت همان لکه‌های گیاهی و افزایش تولید اولیه[1] اکوسیستم می‌شود (۵۶). در تایید این امر، عنوان شد که عوامل فیزیوگرافی و مخصوصاً جهت دامنه، از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر تراکم و ترکیب و تولید گونه‌های گیاهی، تاثیر بگذارند (۱۶). از طرفی، یکی دیگر از دلایلی که منجر به بالا بودن کربن خاک در جهت‌های شمالی‌تر می‌گردد، مربوط به پایین بودن دما مزوکلیمایی در این جهت‌ها است. به عبارتی، کاهش دمای محیط در دامنه‌های شمالی‌تر، فعالیت میکروارگانیسم‌ها را محدود کرده و سبب جلوگیری از تنفس کربن توسط میکروارگانیسم‌های خاک شده و به تبع آن هدرروی کربن ذخیره‌ای کاهش می‌یابد. در این راستا، گزارش شد که سرعت تنفس خاک و تجزیه مواد آلی خاک، با سردشدن دما کاهش پیدا می‌کند (۱۶). همچنین عنوان شد که مقدار کربن ذخیره‌ای بالا، زمانی روی می‌دهد که سرعت تجزیه مواد، کم باشد (۱۲). نتایج مطالعات در خصوص میزان کربن تصاعد شده در مراتع قوشچی در مراتع ارومیه حاکی از آن است که بیشترین تصاعد کربن خاک در ماه‌های گرم سال (مرداد و تیر) و کمترین آن در ماه‌های سرد سال (بهمن و آذر) روی می‌دهد (۵۰). مطالعه دیگر در خصوص اندازه‌گیری میزان کربن تصاعد شده از مراتع خشک ایوانکی واقع در استان سمنان نیز مطابق با یافته این تحقیق بوده و عنوان شده است بیشترین میزان تصاعد کربن در ماه مرداد (۳۳/۲ گرم بر متر مربع در روز) و کمترین میزان تصاعد کربن در بهمن ماه (۰/۰۵ گرم بر متر مربع در روز) است (۲۹). تحقیق در خصوص اثر تبدیل مرتع به جنگلکاری در مراتع سنندج نیز حاکی از بالابودن تصاعد کربن در مهر ماه و کمتر بودن آن در مرداد ماه است (۵۸).

بر اساس نتایج، هیچ یک از شاخص‌های تنوع تاکسونومیک با کربن آلی خاک، رابطه معنی‌داری نداشت. ولی در خصوص شاخص‌های تنوع عملکردی، شاخص‌های MFAD و Feve و $CWM_{leaf\ length}$ در مدل نهایی، رابطه معنی‌داری با میزان کربن آلی ذخیره‌ای خاک نشان دادند. محققان مختلفی بر این امر تأکید داشته‌اند از آنجا که گونه‌ها مبین صفات نیستند، لذا ارتباطی با عملکرد اکوسیستم نخواهند داشت. چه بسا که ممکن است تعداد و تنوع گونه‌ای گیاهی زیادی در یک عرصه باشد و همگی هم‌خطی یا افزونگی عملکرد ایجاد کنند و از لحاظ عملکرد، یکسان باشد ولی در مقایسه با تنوع تاکسونومیک گونه‌ای، تنوع عملکردی میزان توزیع و دامنه عملکردی که موجود زنده در جامعه انجام می‌دهد را اندازه می‌گیرد و بنابراین، به اشتراک و یا حشویت عملکردی گونه‌های یکسان، توجه می‌نماید (۴۲). در تأیید این امر، مطالعاتی صورت گرفته و عموماً بهتر پاسخ دادن خدمات اکوسیستم به تنوع عملکردی، تأیید شده است. تحقیقات مذکور بر این نکته تأکید کرده‌اند که چون تنوع عملکرد مرتبط با صفات عملکردی گیاهان هستند؛ لذا از قدرت تعیین‌کنندگی بالایی برخوردار است. چرا که اگر بر اساس گونه‌ها، بررسی عملکرد اکوسیستم صورت گیرد، ممکن است برخی مسائل نظیر افزونگی[2] گونه‌ای (چندین گونه یک عملکرد و یا نقش را داشته باشد)، سبب برآورد نامناسب استفاده متنوع از منابع و میزان جریان عملکردها در اکوسیستم گردد. در این راستا، برخی محققان تأکید کرده‌اند که یک اکوسیستم می‌تواند توسط گونه‌های متعددی اشغال گردد و لذا از غنای بالایی برخوردار باشد، اما در صورتی که دارای گونه‌هایی با

[1]- Primary productivity

[2]- Redundancy

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

صفت مشابه باشند در آن صورت تنوع عملکردی کمی خواهد داشت (۱۹).

بررسی شاخص‌های تنوع عملکردی دخیل در تبیین عملکرد اکوسیستم از لحاظ ذخیره کربن خاک، نشان داد هر دو فرضیه نسبت جرم و آشیان مکمل (تعدد آشیان‌های اکولوژیک) بر پتانسیل ذخیره ای کربن خاک برقرار است. زیرا که شاخص میانگین وزنی جامعه مربوط به صفت طول برگ ($CWM_{leaf\ length}$) نماینده فرضیه نسبت جرم و شاخص‌های تنوع ویژگی عملکرد اصلاح شده (MFAD) و یکنواختی عملکرد (Feve) نماینده فرضیه تعدد آشیان‌های اکولوژیک هر دو دسته شاخص‌ها به‌طور توأم در مدل نهایی و تبیین کربن خاک حضور و نقش دارد. به عبارتی بر اساس ماهیت شاخص $CWM_{leaf\ length}$ و رابطه مثبت آن با ذخیره کربن، این نکته مشخص می‌شود؛ در صورتی که در جامعه گیاهی $CWM_{leaf\ length}$ بالا باشد و به عبارتی گونه‌هایی با طول برگ‌های دراز، به تعداد زیادی حضور داشته باشد و هر کدام نیز از فراوانی بالاتری نیز برخوردار باشند، انتظار می‌رود میزان تولید لاشبرگ به ازای هر برگ نیز افزایش یابد و در نتیجه به تبع آن میزان ورودی کربن به خاک فراتر می‌رود. از طرفی، عنوان می‌شود صفات ساختاری و اندازه‌ای گیاه نظیر؛ سطح برگ، نقش مهمی در جذب انرژی تابشی خورشید توسط گیاه دارند. بیشتر بودن این صفات همچنین سبب تسهیل داد و ستد دی اکسید کربن و آب بین گیاه و اتمسفر می شود (۳۵). یافته تحقیق در این مورد مطابق فرضیه نسبت جرم گرایم (۲۱) بوده که فرض بر این دارد که صفات عملکردی گیاهی با فراوانی گیاهان در ارتباط است. هم راستا با این یافته‌ها، طی مطالعه‌ای در جوامع علفی در تعدادی از کاربری‌های مختلف در اروپا (۱۸)، شاخص میانگین وزنی جامعه مربوط به صفات برگ نظیر طول برگ به‌عنوان پیش‌بینی کننده ارزشمند اثرات تغییر کاربری بر چرخه عناصر، ذکر شده است.

از آنجایی که شاخص MFAD و Feve به‌عنوان نمانیده فرضیه تنوع آشیان‌های اکولوژیک است، لذا ارتباط معنی‌دار بین کربن ذخیره‌ای خاک و شاخص‌های تنوع عملکردی MFAD و Feve، بیانگر برقراری فرضیه تنوع و تودرتویی آشیان‌های اکولوژیک در تبیین میزان کربن خاک می‌باشد (۵۴). بر اساس مفهوم شاخص MFAD (تنوع ویژگی عملکرد اصلاح‌شده)، به نظر می‌رسد هر چقدر تنوع عملکردها و تنوع صفات در بین گیاهان یک سایت بالا باشد، این امر می‌تواند کربن ذخیره‌ای خاک را افزایش دهد. این تنوع قابلیت پوشش گیاهی را در استفاده از منابع خاک، آب، نور افزایش می‌دهد و بنابراین منجر به تولید بیوماس بالا و افزایش کربن ورودی به خاک می‌شود. در مقابل، هر چه صفات عملکردی گیاهان سایت از لحاظ عملکرد شباهت با هم داشته باشند، در این صورت پتانسیل سایت برای جذب و ذخیره‌سازی منابع و از جمله کربن خاک، کاهش می‌یابد. یکی از دلایل اصلی توضیح اینکه چرا جوامع متنوع، عملکردی بهتر از جوامع با تنوع کمتر دارد؛ این است که گونه‌های مختلف با صفات عملکردی متنوع، همدیگر را در استفاده از منابع مکانی، زمانی، زنجیره شیمیایی تکمیل و یا تسهیل می‌نمایند. با این حال در صورتی‌که فراوانی هر یک از گونه‌های با صفات خاص، یکسان باشد؛ در آنصورت کمترین تداخل احتمالی نیز با یکدیگر خواهند داشت و رقابت نیز کاهش می‌یابد (۱۴). مباحثی نظیر پرستاری گونه‌ها، توانایی تثبیت نیتروژن توسط برخی گونه، تعدیل میکروکلیما و افزایش حاصلخیزی خاک از جمله تسهیلاتی است که در جوامع گیاهی می‌تواند وجود داشته باشد (۴۶). از سویی بر اساس شاخص یکنواختی عملکرد (Feve)، مشخص می‌شود هر چه یکنواختی بالا برود و به عبارتی پراکنش فراوانی ارزش هر یک عملکردها، برابر باشد؛ در این صورت عملکرد اکوسیستم از لحاظ ذخیره کربن نیز بالا می‌رود (۳۴). بر اساس نظریات مطرح (۳۴)، یکنواختی عملکرد، برآوردی از یکنواختی توزیع فراوانی در فضای آشیان‌های پر شده است. بنابراین این شاخص، به میزان آشیان‌های پر شده توسط گونه‌ها اشاره دارد. عنوان شده است که با افزایش یکنواختی عملکرد، منابع غذایی موجود در آشیان اکولوژیک بصورت یکنواخت توسط گونه‌های گیاهی مصرف می‌شود و استفاده حداکثری تنها در یک قسمت از آشیان اکولوژیکی شکل نمی‌گیرد که این موضوع خود باعث افزایش عملکرد اکوسیستم می‌شود (۳۸). در بررسی ارتباط تنوع عملکردی با کربن ذخیره‌ای، مشخص شد شاخص یکنواختی عملکرد (Feve)، ارتباط مستقیم با کربن خاک دارد (۵۳). پر شدن یکسان آشیان‌های اکولوژیک توسط گونه‌ها و استفاده موثر از منابع در دسترس،

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

از جمله دلایل این امر دانسته شده و عنوان گردیده در صورتی‌که بخشی از آشیان‌ها توسط گونه‌ها پر شود و منابع موجود به‌طور کامل و موثر مورد استفاده قرار ن‌گیرند، در نتیجه پتانسیل تولید آن کاهش می‌یابد.

به طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو نظریه تعدد آشیان اکولوژیک و نسبت جرم بر تبیین میزان کربن خاک برقرار است. در خصوص نقش هر کدام در اکوسیستم‌های مختلف عنوان شد که این فرضیه لزوماً شبیه هم و هم اندازه هم اثرگذار نیست و در موقعیت‌ها و مکان‌های مختلف، اهمیت نسبی متفاوتی دارند (۳۹). در این تحقیق نیز با توجه به تفاوت در میزان ضریب استاندارد هر یک از شاخص‌های تنوع عملکردی مربوط به هر دسته، مشخص شد که ضریب استاندارد شاخص‌های Feve و MFAD، بیشتر از شاخص $CWM_{leaf.length}$ بوده و بر این اساس، فرضیه مکملیت گونه‌ها (تعدد آشیان‌ها)، نقش مهم‌تری نسبت به فرضیه دیگر دارد. این یافته با دیگر مطالعات که در اراضی جنگلی صورت گرفته است (۴۵)، همخوانی ندارد ولی با نتایجی که در گراسلندها انجام شده (۳۶)، مطابقت دارد. این امر ناشی از تفاوت اکوسیستم‌ها و وزنی است که بواسطه فروانی درصد تاج پوشش و سطح یقه در محاسبات وارد می‌شود (۴۶ و ۱۷).

به‌طور کلی می‌شود عنوان نمود، ذخیره کربن آلی خاک با کاهش تنوع و یکنواختی عملکرد گیاهی و نیز کاهش ذرات ریز نظیر سیلت و کوبیدگی خاک و افزایش فرسایش، کاهش می‌یابد. استفاده از گونه‌های با برگ‌های اندازه بزرگ در طرح‌های اصلاح مراتع و توجه به صفات عملکردی آن و افزایش تنوع عملکردی در اکوسیستم، سبب افزایش ذخیره کربن خاک و کمک به کاهش خطر گرم شدن کره زمین خواهد شد. همچنین استفاده از فاکتورهای غیرزنده و زنده در بررسی رابطه کربن آلی خاک و تنوع گیاهی می‌تواند به توانایی مدل‌ها و دقت پیش‌بینی اضافه کند. با این حال، این عوامل در مکان‌های مختلف، متفاوت خواهد بود. نتایج این مطالعه بیان کرد که تنوع تاکسونومیک در هیچ یک از مناطق کلان اکولوژیک، در تبیین کربن ذخیره‌ای، نقش ندارد. علیرغم افزایش تحقیقات مرتبط با بررسی این مؤلفه‌های تنوع زیستی، تنوع عملکردی هنوز در برنامه‌های پایش تنوع زیستی، کمتر به چشم می‌خورد (۵). به‌عنوان نتیجه اصلی این تحقیق، مشخص شد شاخص‌های تنوع عملکردی در کنترل و تبیین عملکرد ذخیره کربن، نقش مثبت داشته و برای شاخص‌های تاکسونومیک، جایگاهی در این خصوص یافت نشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی با کد ۹۷/م/۰۰۱ مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه ارومیه استخراج شده است. بدینوسیله از دانشگاه ارومیه به پاس حمایت مادی و معنوی از این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Arzani, H. 1997. Guidelines for assessing the rangelands of different climate zones of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, 75 p. (In Persian).
2. Arzani, H. & M. Abedi, 2015. Rangeland assessment: Vegetation measurement. University of Tehran press, 304p. (In Persian).
3. Azarnivand, H., H. Joneidi, M.A. Zare Chahooki & H. Maddah Arefi, 2011. Investigation of the effects of some ecological factors on carbon sequestration in *Artemisia sieberi* rangelands of Semnan province. Journal of range and watershed management, 64(1): 107-127. (In Persian).
4. Burnham, K.P. & D.R. Anderson, 2003. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Journal of Wildlife Management, 67: 655.
5. Cadotte, M.W., K. Carscadden & N. Mirotchnick, 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological process and services. Journal of applied ecology, 48(5): 1079-1087.
6. Cardinale, B.J., J.P. Wright, M.W. Cadotte, I.T. Carroll, A. Hector, D.S. Srivastava, M. Loreau & J.J. Weis, 2007. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 104(46):18123-18128.
7. Carter, M.R. & E.G. Gregorich, 2008. Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. CRC Press, Taylor and Francis Group Boca Raton FL.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

8. Casanoves, F., L. Pla, J.A. Di Rienzo & S. Diaz, 2011. FDiversity: a soft-ware package for the integrated analysis of functional diversity. Methods in Ecology and Evolution, 2(3):233-237.
9. Chapin, F.S., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, R.L. Naylor, P.M. Vitousek, H.L. Reynolds, D.U. Hooper, S. Lavorel, O.E. Sala & S.E. Hobbie, 2000. Consequences of changing biodiversity. Nature, 405(6783): 234-242.
10. Conti, G. & S. Díaz, 2013. Plant functional diversity and carbon storage–an empirical test in semi-arid forest ecosystems. Journal of Ecology, 101(1): 18-28.
11. Cornelissen, J.H.C., S. Lavorel, E. Garnier, S. Diaz, N. Buchmann, D.E. Gurvich, P.B. Reich, H. Steege, H.D. Morgan, M.G.A. van der Heijden, J.G. Pausas & H. Poorter, 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany, 51: 335-380.
12. Cornwell, W.K., J.H. Cornelissen, K. Amatangelo, E. Dorrepaal, V.T. Eviner, O. Godoy, S.E. Hobbie, B. Hoorens, H. Kurokawa & N. Pe´rez-Harguindeguy, 2008. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. Ecology Letters, 11(10):1065-1071.
13. Díaz, S., S. Lavorel, F. de Bello, F. Quetier, K. Grigulis & T.M. Robson, 2007. Incorporating plant functional diversity effects into ecosystem service assessments. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 104(52): 20684-20689.
14. Eisenhauer, N., P.B. Reich & S. Scheu, 2012. Increasing plant diversity effects on productivity with time due to delayed soil biota effects on plants. Basic and Applied Ecology, 13: 571-578.
15. Ellert, B.H. & J.R. Bettany, 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science, 75(4):529-538.
16. Enright, N.J., B.P. Miller & R. Akhtar, 2005. Desert vegetation and vegetation-environment relationships in Kirthar National Park, Sindh, Pakistan. Journal of Arid Environments, 61: 397- 418.
17. Finegan, B., M. Peña-Claros, A. de Oliveira, N. Ascarrunz, M.S. Bret-Harte, G. Carreño-Rocabado & L. Poorter, 2015. Does functional trait diversity predict above-ground biomass and productivity of tropical forests? Testing three alternative hypotheses. Journal of Ecology, 103: 191-201.
18. Fortunel, C., E. Garnier, R. Jofre, E. Kazakou, H. Quested, K. Grigulis, S. Lavorel, P. Ansquer, H. Castro & P. Cruz, 2009. Leaf traits capture the effects of land use changes and climate on litter decomposability of grasslands across Europe. Ecology, 90(3): 598-611.
19. Gerisch, M., V. Agostinelli, K. Henle & F. Dziock, 2012. More species, but all do the same: contrasting effects of flood disturbance on ground beetle functional and species diversity. Oikos, 121(4): 508-515.
20. Goharnejad, A., P. Tahmasebi, E. Asadi & J. Motamedi, 2017. Comparison of Species Richness and FAD2 Functional Diversity in Order to Estimate the Biomass Production in the Central Zagros. Iranian journal of Range and Desert Research, 24(1), 1-15. (In Persian).
21. Grime, J.P., 1998. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. Journal of Ecology, 86(6): 902-910.
22. Guerrero-Ramı´rez, N.R. & N. Eisenhauer, 2017. Trophic and non-trophic interactions influence the mechanisms underlying biodiversity-ecosystem functioning relationships under different abiotic conditions. Oikos, 126: 1748-1759.
23. Hammer, Q., D.A.T. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 4(1): 1-9.
24. Hector, A., T. Bell, Y. Hautier, F. Isbell, M. Ke´ry, P.B. Reich, J.V. Ruijven & B. Schmid, 2011. BUGS in the Analysis of Biodiversity Experiments: Species Richness and Composition Are of Similar Importance for Grassland Productivity. PLoS ONE, 6(3): e17434.
25. Holechek, J.I. & D. Galt, 2000. Grazing intensity guidelines. Rangelands, 22(3):11-14.
26. Houghton, R.A., 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: Lal, R., Kimble, J. M., Levine, E., Stewart, V.A. (Eds.), Soil and Global Change. Lewis Publisher CRC, Boca Raton. pp. 45- 65.
27. Jafarian, Z., M., Dehghan, F., Barjasteh & M. Kargar, 2020. Determination of effective environmental factors on plants functional diversity and species diversity in Ravar rangelands. Journal of Plant Ecosystem Concervation, 7(15):1-22. (In Persian).
28. Jenkinson, D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C labeled ryegrass decomposing under field conditions. Journal of Soil Science, 28(3): 424-434.
29. Joneidi, H., A. Sadeghipour, N. Kamali & S. Nikoo, 2015. Effects of land use change on soil carbon sequestration and emissions (case study: arid rangelands of Eivanakei, Semnan province). Journal of Natural Environment, 68(2): 191-200. (In Persian).

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

30. Kitayama, K. & S. Aiba, 2002. Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. Journal of Ecology, 90(1): 37-51.
31. Koutika, L.S., T. Choné, F. Andreux, G. Burtin, & C.C. Cerri, 1999. Factors influencing carbon decomposition of topsoils from the Brazilian Amazon Basin. Biology and Fertility of Soils, 28(4): 436-438.
32. Magurran, A., 2005. Measuring Biological Diversity. Blackwell Science, Oxford.
33. Martinez-Sanchez, J.L. & L.C. Cabrales, 2012. Is there a relationship between floristic diversity and carbon stocks in tropical vegetation in Mexico?. African Journal of Agricultural Research, 7(17): 2584-259.
34. Mason, N.W.H., D. Mouillot, W.G. Lee, & J.B. Wilson, 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: The primary components of functional diversity. Oikos, 111: 112-118.
35. Mensah, S., R. Glèlè Kakaï & T. Seifert, 2016. Patterns of biomass allocation between foliage and woody structure: The effects of tree size and specific functional traits. Annals of Forest Research, 59: 49-60.
36. Mokany, K., J. Ash & S. Roxburgh, 2008. Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. Journal of Ecology, 96(5): 884-893.
37. Motamedi, J., E. Azad mosavi, M. Miryaghoobadeh & M. Souri, 2019. Desirability of habitats of Jashir species (*Prangos ferulacea*) in mountainous rangelands of Urmia. Rangeland, 13(3): 408-442. (In Persian).
38. Mouchet, M.A., S. Villéger, N.W.H. Mason & D. Mouillot, 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. Functional Ecology, 24(4): 867-876.
39. Mouillot, D., S. Villeger, M. Scherer-Lorenzen & N.W. Mason, 2011. Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality. PLoS ONE, 6(3):e17476.
40. Omidipour, R., A. Ebrahimi, P. Tahmasbi & M. Faramarzi, 2019. The relationship between functional richness, functional evenness and functional divergence with ecosystem function in a cold steppe rangeland of Marjan, Boroujen. Rangeland, 13(2): 504-521. (In Persian).
41. Peichl, M. & M.A. Arain, 2007. Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. Forest Ecology Management, 253: 68-80.
42. Petchey, O.L. & K.J. Gaston, 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. Ecology Letters, 9(6): 741-758.
43. Peterson, E.B. & B. McCune, 2001. Diversity and succession of epiphytic macrolichen communities in low-elevation managed conifer forests in Western Oregon. Journal of Vegetation Science, 12: 511-524.
44. Polglase, P.J., A. Reeson, C.S. Hawkins, K.I. Paul, A.W. Siggins, J. Turner, D.F. Crawford, T. Jovanovic, T.J. Hobbs, K. Opie, J. Carwardine & A. Almeida, 2013. Potential for forest carbon plantings to offset greenhouse emissions in Australia: economics and constraints to implementation. Climate Change, 121: 161-175.
45. Rawat, M., K. Arunachalam, A. Arunachalam, J. Alatalo & R. Pandey, 2019. Associations of plant functional diversity with carbon accumulation in a temperate forest ecosystem in the Indian Himalayas. Ecological Indicators, 98: 861-868.
46. Ruiz-Benito, P., L. Gómez-Aparicio, A. Paquette, C. Messier, J. Kattge & M.A. Zavala, 2014. Diversity increases carbon storage and tree productivity in Spanish forests. Global Ecology and Biogeography, 23: 311-322.
47. Schumacher, J. & Roscher, C., 2009. Differential effects of functional traits on aboveground biomass in semi-natural grasslands. Oikos, 118: 1659-1668.
48. Sheidai Karkaj E., I. Jafari Fotomi & S. Sasanifar, 2016. Application of different computation methods for estimating soil sequestrated carbon (Case Study: Chaharbagh summer rangelands, Golestan province). Rangeland, 9(4): 420-430. (In Persian).
49. Sheidai Karkaj, E., A. Sepehry, H. Barani & J. Motamedi, 2017. Soil organic carbon reserve relationship with some soil properties in East Azerbaijan rangelands. Rangeland, 11(2): 125-138. (In Persian).
50. Souri, M., N. Kamali & P. Asouri, 2019. Effects of grazing intensity on the rate of carbon dioxide emission (Case study: Ghoshchi rangelands of Urmia), Rangeland, 13(1): 113-124. (In Persian).
51. Steinbeiss, S., H. Bessler, C. Engels, V.M. Temperton, N. Buchmann, C. Roscher, Y. Kreutziger, J. Baade, M. Habekost & G. Gleixner, 2008. Plant diversity positively affects short-term soil carbon storage in experimental grasslands. Global Change Biology, 14(12): 2937-2949.
52. Taghipour, S., M. Hassanzadeh & S. Hosseini Sarghein, 2012. Introduction of the flora, life form and chorology of the Alla region and Rudzard in Khuzestan province. Taxonomy and Biosystematics, 3(9): 15-30. (In Persian).
53. Tahmasebi, P., M. Moradi & R. Omidipour, 2017. Plant functional identity as the predictor of carbon storage in semi-arid ecosystems. Plant Ecology Divers, 10(2-3): 139-151.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]

54. Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie & E. Siemann, 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. Science, 277(5330): 1300-1302.
55. Trenbath, B.R., 1974. Biomass productivity of mixtures. Advances in Agronomy, 26: 177-210.
56. Turnbull, T., J. Wainwright & R.E.A. Brazier, 2008. Conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: ecohydrological interactions across multiple-space and time scales. Ecohydrology, 1(1): 23-34.
57. Vandewalle, M., F. de Bello, M.P. Berg, T. Bolger, S. Dole´dec, F. Dubs, C.K. Feld, R. Harrington, P.A. Harrison, S. Lavorel, P. Martins da Silva, M. Moretti, J. Niemela, P. Santos, T. Sattler, J.P. Sousa, M.T. Sykes, A.J. Vanbergen & B.A. Woodcock, 2010. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. Biodiversity and Conservation, 19: 2921-2947.
58. Zareii, F., H. Joneidi & P. Karami, 2019. Effect of conversion of rangeland to Forest cultivation on carbon emission changing in soil (case study: Sanandaj Rangeland). Journal of Range and Watershed Management, 72(2): 391-408.
59. Ziter, C., E.M. Bennett & A. Gonzalez, 2013. Functional diversity and management mediate aboveground carbon stocks in small forest fragments. Ecosphere, 4(7):1-21.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2025-12-07]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1399.14.4.12.6]